GHGenius
GREENHOUSE GAS MODEL

A lifecycle analysis of hydrogen pathways

The Government of Canada is committed to the transformative, long-term change required to make reductions in greenhouse gas (GHG) emissions while ensuring continued economic growth. Encouraging innovation and the development of environmental technology is a key aspect of the Government's approach to climate change in the longer term. New technologies can provide Canadians with the ability to reduce GHG and other harmful emissions. Fuel cell and hydrogen technologies will help Canada meet its emission obligations over the longer term and across many sectors of the economy.

In the past, the use of different methods of calculating GHG emissions and an absence of complete and accurate information has lead to conflicting statistics for past, present and future GHG emissions. Natural Resources Canada (NRCan) has developed the GHGenius lifecycle emissions model to enable a systematic approach to modeling the GHG emissions of both technology and fuels across the transportation sector. NRCan's Canadian Transportation Fuel Cell Alliance (CTFCA) has assembled a comprehensive set of hydrogen pathways and their associated GHG emissions, which are based on actual Canadian conditions and fuel standards. This will allow industry, governments and the media to utilize consistent numbers derived from a common database and GHG model.

Natural Resources Canada | Ressources naturelles Canada

Canada

106-04818/

What is GHGenius?

GHGenius is an analytical tool that can be used to predict GHG and criteria air contaminant (CAC) emissions for on-road transportation systems. This model can be run for any year between 2000 and 2050. To do this, it employs historical data and correlations for changes over time in energy and processing parameters. GHGenius uses a complete fuel cycle approach. This means that the overall emissions of a process are assigned to various stages of the fuel's lifecycle – from the time a feedstock is extracted (e.g. natural gas) or cultivated (e.g. corn) through to it's end use on the road. This methodology enables the user to easily compare new and existing fuels and the technologies that use them.

Regardless of whether a fuel is burned in an internal combustion engine (ICE) or transformed in a fuel cell, GHGenius identifies:

- The amount of GHG and CAC emissions generated by a wide variety of fuels and technologies;
- The amount of energy used and generated; and
- The cost-effectiveness of the entire fuel lifecycle.

Since GHGenius can be used to compare the GHG benefits and cost-effectiveness of different fuelling pathways, it is particularly beneficial in evaluating new programs and policies.

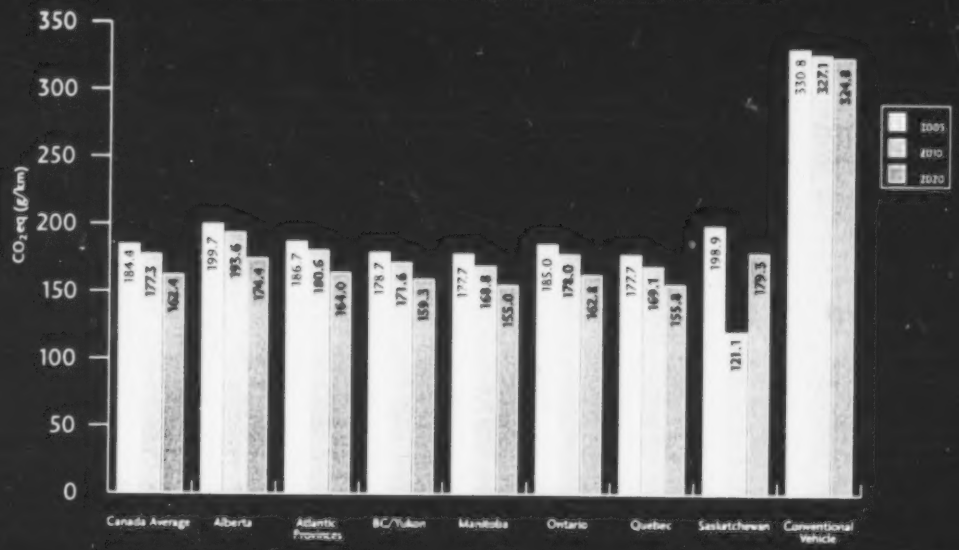
Assumptions

The charts provided in this publication have been calculated based on the following assumptions:

- Hydrogen production pathways are compared to conventional internal combustion engine vehicles which use the new standard reformulated gasoline (RFG) as a baseline.
- All calculations assume a decentralized production model. In other words, the hydrogen is produced where it will be used.
- The electricity generation mix was taken from the National Energy Board's 2003 supply and demand forecast, *"Canada's Energy Future, Scenarios for Supply and Demand to 2025"*.
- Fuel for internal combustion engines (ICE):
  - From 2005 to 2019, the sulphur content of RFG is regulated at 30ppm.
  - Beginning in 2020, it is predicted that the sulphur content of RFG will be regulated at 1ppm at the refinery.
- Beginning in 2020, 10% of CO_2 emissions coming from natural gas, coal or oil-fired power plants will be sequestered.
- Compressed hydrogen is stored on the vehicle at 350 bar (5,000 psi) from 2005 to 2009, and at 700 bar (10,000 psi) beginning in 2010.
- The Canada average electricity mix provides the energy required to compress the hydrogen.
- In 2005, it is assumed that a hydrogen fuel cell vehicle (H_2FCV) is 2.1 times more efficient than an equivalent internal combustion light-duty vehicle (LDV). It is predicted that a H_2FCV will be 2.2 times more efficient than a LDV in 2010 and 2.3 times more efficient than a LDV in 2020.
- All wood biomass is from short rotation forestry; that is to say, from crops that are grown specifically for the purpose of being used for energy generation.
- All units are expressed as grams per kilometer (g/km).
- The CO_2 equivalent factor (CO_2eq) used within the model is the sum of the following GHGs multiplied by their global warming potential (GWP): CO_2 (carbon dioxide GWP=1), N_2O (nitrous oxide GWP=310) and CH_4 (methane GWP=21).

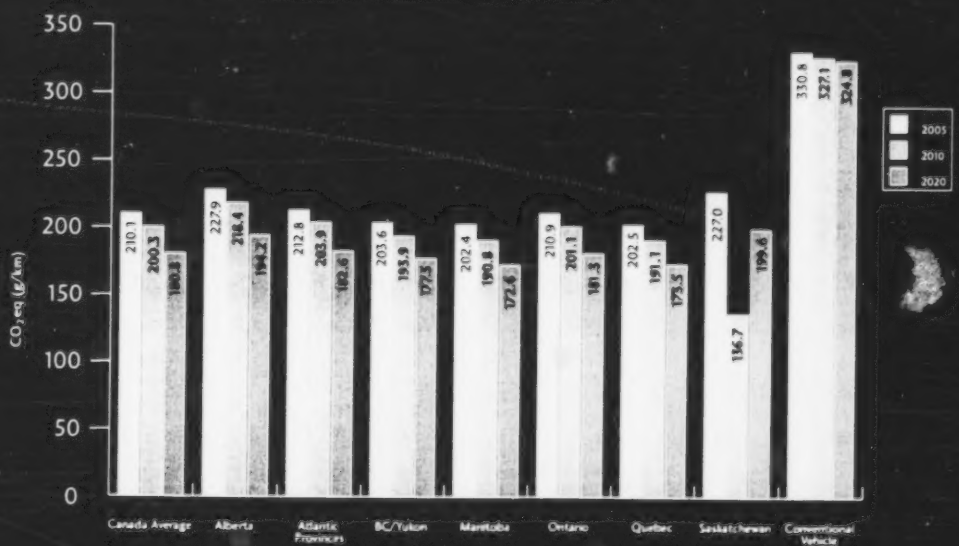
The following charts illustrate the lifecycle GHG emissions from various hydrogen production pathways for end use in fuel cell vehicles, as compared to an equivalent conventional gasoline internal combustion engine (ICE) vehicle.

Hydrogen Production from the Steam Methane Reforming (SMR) Pathway*



Steam at a high temperature and pressure is mixed with natural gas - made up primarily of methane - in a reactor/reformer to produce hydrogen and carbon dioxide.

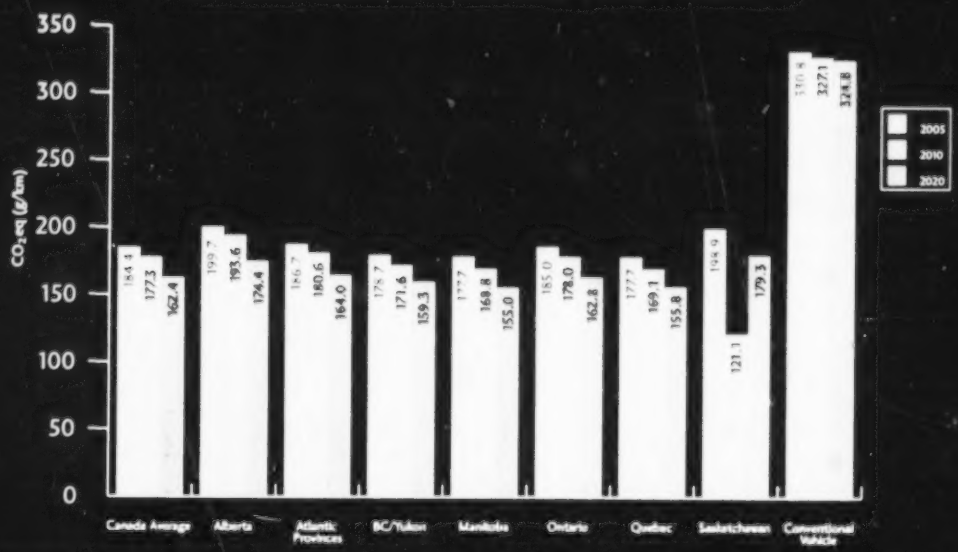
Hydrogen Production from the Methanol Reforming Pathway*



A mixture of vaporized methanol and steam is passed through heated reactors to produce hydrogen and carbon dioxide.

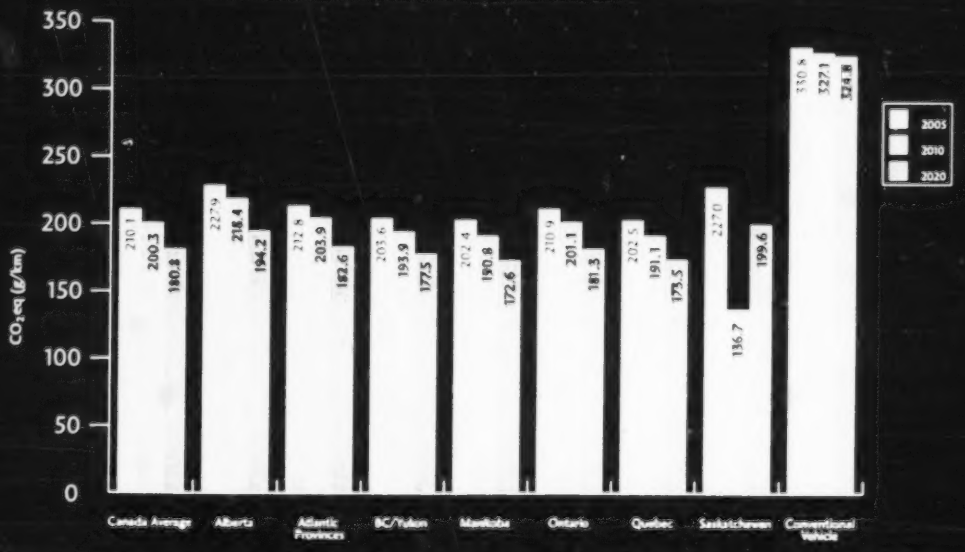
The following charts illustrate the lifecycle GHG emissions from various hydrogen production pathways for end use in fuel cell vehicles, as compared to an equivalent conventional gasoline internal combustion engine (ICE) vehicle.

Hydrogen Production from the Steam Methane Reforming (SMR) Pathway*



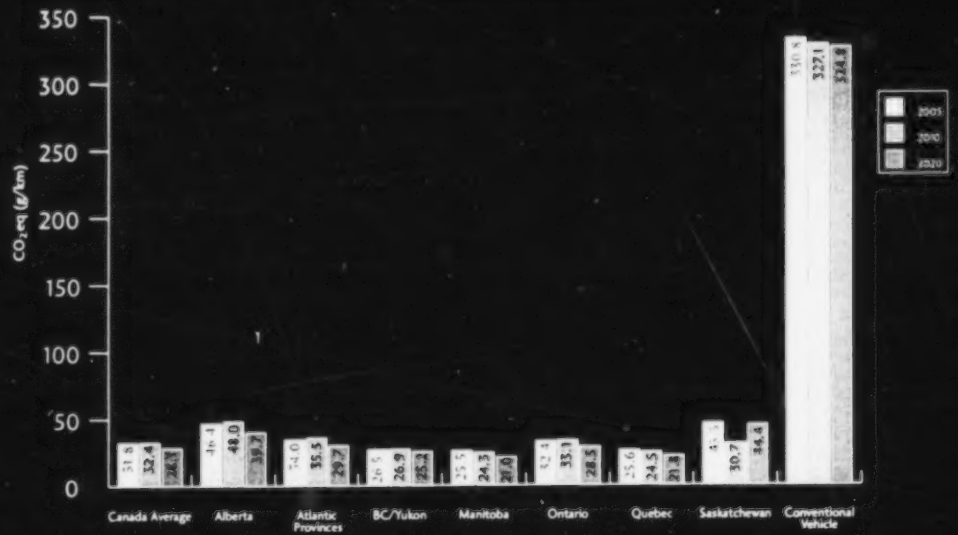
Steam at a high temperature and pressure is mixed with natural gas - made up primarily of methane - in a reactor/reformer to produce hydrogen and carbon dioxide.

Hydrogen Production from the Methanol Reforming Pathway*



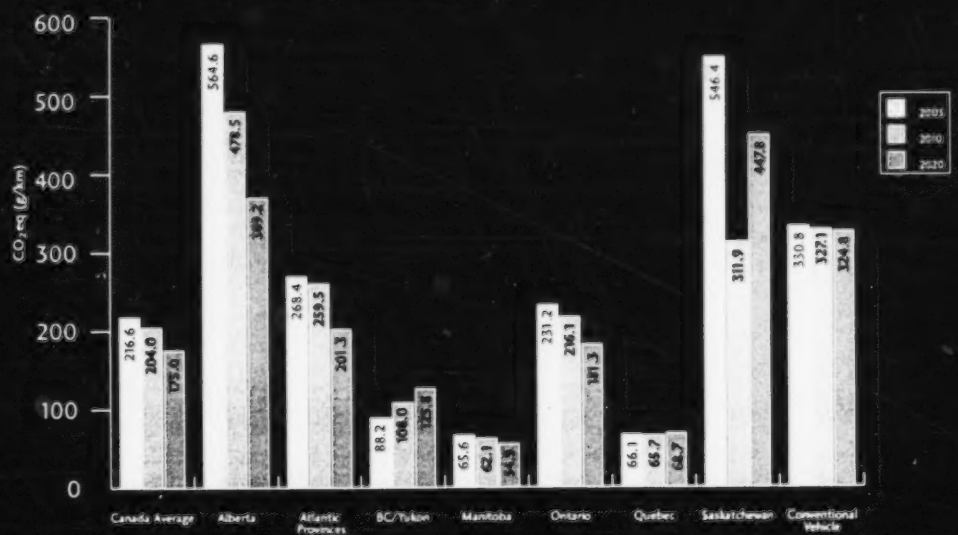
A mixture of vaporized methanol and steam is passed through heated reactors to produce hydrogen and carbon dioxide.

Hydrogen Production from the Biomass Gasification Pathway*



Gasification converts biomass feedstocks, such as wood wastes or crop wastes, into gaseous components – primarily hydrogen and carbon dioxide – by applying heat and pressure in the presence of steam.

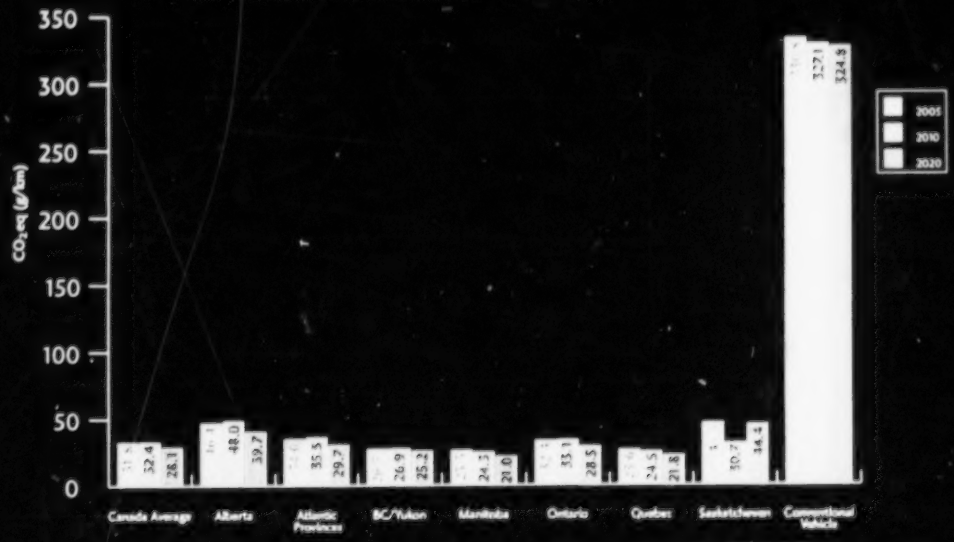
Hydrogen Production from the Electrolysis Pathway*



Electrolysis separates water into its constituent elements - hydrogen and oxygen - by passing an electrical current through water.

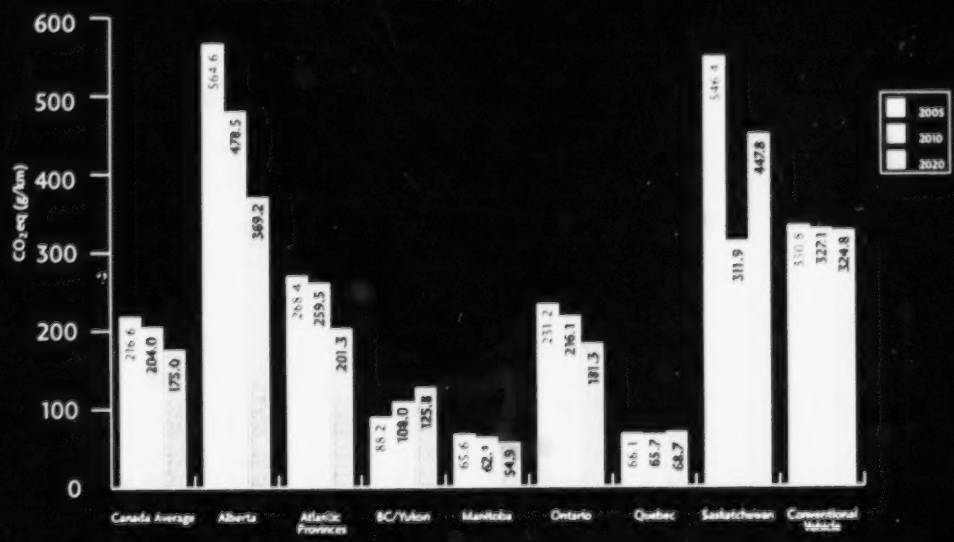
For information on GHGenius visit: **www.ghgenius.ca**
For information on the CTFCA visit: **www.ctfca.nrcan.gc.ca**

Hydrogen Production from the Biomass Gasification Pathway*



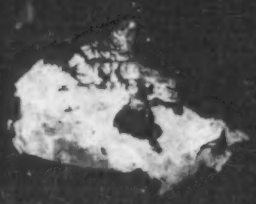
Gasification converts biomass feedstocks, such as wood wastes or crop wastes, into gaseous components – primarily hydrogen and carbon dioxide – by applying heat and pressure in the presence of steam.

Hydrogen Production from the Electrolysis Pathway*



Electrolysis separates water into its constituent elements - hydrogen and oxygen - by passing an electrical current through water.

For information on GHGenius visit: **www.ghgenius.ca**
For information on the CTFCA visit: **www.ctfca.nrcan.gc.ca**



GHGenius

MODÈLE RELATIF AUX GAZ À EFFET DE SERRE

Une analyse des parcours de l'hydrogène durant leur cycle de vie

Le gouvernement du Canada s'est engagé à faire les changemer. s nécessaires à long terme pour réduire les émissions de gaz à effet de serre tout en assurant une croissance économique soutenue. L'encouragement à l'innovation et au développement de la technologie sur le plan environnemental constitue un des aspects prédominants de la formule adoptée par le gouvernement à long terme concernant les changements climatiques. De nouvelles techniques pourraient donner aux Canadiens la capacité de réduire les émissions de gaz à effet de serre et les autres émissions nocives. Les piles à combustible et l'hydrogène constituent des éléments technologiques qui aideront le Canada à respecter ses engagements en matière d'émissions à long terme et au sein de plusieurs secteurs de l'économie.

L'utilisation, par le passé, de diverses méthodes de calcul des émissions de gaz à effet de serre, ainsi que le manque d'informations complètes et exactes, ont débouché sur des statistiques contradictoires concernant les émissions passées, actuelles et futures de gaz à effet de serre. Ressources naturelles Canada (RNCan) a conçu le modèle GHGenius sur les émissions au cours d'un cycle de vie afin de permettre l'adoption d'une formule systématique ayant trait à la modélisation des émissions de gaz à effet de serre provenant des procédés techniques et des carburants utilisés dans le secteur des transports.

L'Alliance canadienne sur les piles à combustible dans les transports, un élément de RNCan, a réuni un ensemble complet de parcours pour l'hydrogène et les émissions de gaz à effet de serre s'y rapportant, lequel se fonde sur les conditions actuelles du Canada et les normes liées aux carburants. Cet ensemble permettra aux membres de l'industrie, des gouvernements et des médias de recourir à des chiffres uniformes tirés d'une base de données commune et d'un modèle relatif aux gaz à effet de serre.

Ressources naturelles Canada
Natural Resources Canada

Canada

En quoi consiste GHGenius

GHGenius se décrit comme étant un outil d'analyse pouvant servir à prévoir les émissions de gaz à effet de serre et des principaux contaminants atmosphériques dans le cas des réseaux routiers de transport. Ce modèle peut être utilisé pour toute la période se situant entre 2000 et 2050, cela en faisant appel aux données historiques et aux corrélations se rapportant aux changements qui se produisent, au cours des époques, dans les paramètres sur l'énergie et les traitements. Il fonctionne selon une formule basée sur le cycle complet d'un combustible, alors que les émissions globales d'un procédé sont attribuées aux divers stades du cycle de vie de ce combustible - depuis la période où la matière est extraite (comme dans le cas du gaz naturel) ou cultivée (comme dans le cas du blé) jusqu'à la période où elle est utilisée sur la route. Cette façon de faire permet aux utilisateurs de faire aisément la comparaison entre les nouveaux et les anciens combustibles, ainsi qu'entre les divers procédés qu'ils alimentent.

Qu'un combustible soit brûlé à l'intérieur d'un moteur à combustion interne ou transformé au sein d'une pile à combustible, le programme GHGenius permet de déterminer :

- la quantité d'émissions de gaz à effet de serre et des principaux contaminants atmosphériques produite par une vaste gamme de combustibles et de techniques ;
- la quantité d'énergie consommée et produite ;
- la rentabilité d'un cycle de vie entier d'un combustible.

Comme le GHGenius peut servir à comparer les avantages liés à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à évaluer la rentabilité de divers parcours de ravitaillement, cet outil est particulièrement avantageux pour établir l'efficacité des nouveaux programmes et des nouvelles politiques.

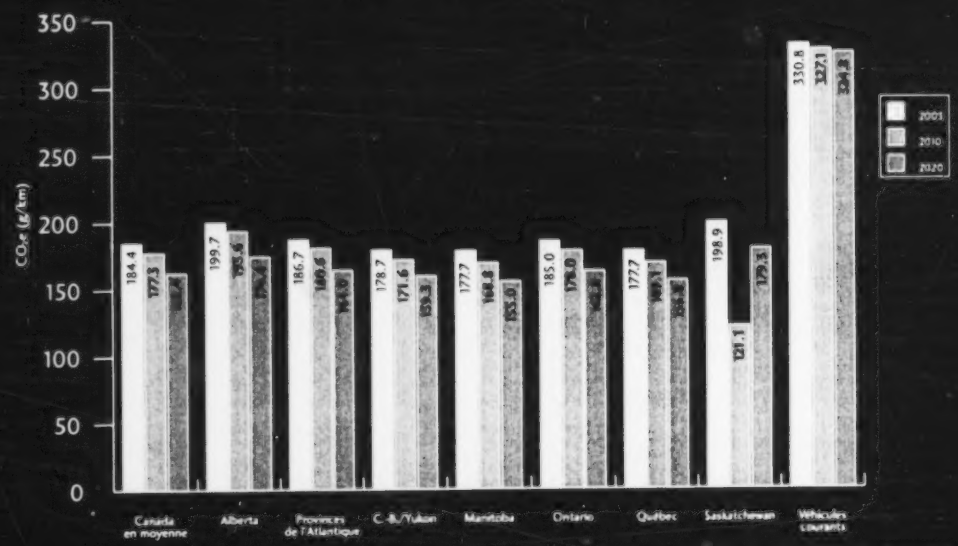
Hypothèses

Les tableaux fournis dans la présente publication ont été établis en fonction des hypothèses suivantes :

- Les parcours de production de l'hydrogène sont comparés à la base aux véhicules courants à moteur à combustion interne qui sont alimentés à la nouvelle essence reformulée standard.
- Tous les calculs se basent sur un modèle de production décentralisée. Autrement dit, l'hydrogène est produit à l'endroit où il est consommé.
- Les quantités d'énergie produites sont tirées des prévisions de 2003 concernant l'offre et la demande faites par l'Office national de l'énergie : *L'avenir énergétique du Canada, Scénarios relatifs à l'offre et la demande jusqu'en 2025*.
- Combustible destiné aux moteurs à combustion interne :
  - de 2005 à 2019, le contenu en soufre de l'essence reformulée est réglementé à 30 ppm.
  - en 2020, il est prévu que le contenu en soufre de l'essence reformulée sera réglementé à 1 ppm à la raffinerie.
- En 2020, on procédera à la séquestration de 10 p. 100 des émissions de CO_2 provenant des centrales électriques alimentées au gaz naturel, au charbon et au mazout.
- L'hydrogène comprimé sera stocké à bord des véhicules à 350 bars (5 000 lbs/po^2) de pression de 2005 à 2009, et à 700 bars (10 000 lbs/po^2) de pression à partir de 2010.
- La puissance énergétique moyenne du Canada sera suffisante pour faire la compression de l'hydrogène.
- En 2005, nous croyons que les véhicules munis de piles à combustible seront 2,1 fois plus efficaces que les véhicules légers équivalents à moteur à combustion interne. Nous prévoyons qu'en 2010, les véhicules munis de piles à combustible seront 2,2 fois plus efficaces que les véhicules légers à essence, et 2,3 fois en 2020.
- Tous les produits de la biomasse tirés du bois proviennent de la foresterie à courte rotation (c'est-à-dire que leur culture est faite spécialement dans le but de servir à la production de l'énergie).
- Toutes les unités sont données en g/km.
- La facteur d'équivalence du CO_2 (CO_2e) utilisé dans le modèle constitue la somme des gaz à effet de serre suivante multipliée par leur potentiel de réchauffement planétaire (PRP) : CO_2 (PRP du dioxyde de carbone = 1), N_2O (PRP de l'oxyde nitreux = 310) et CH_4 (PRP du méthane = 21).

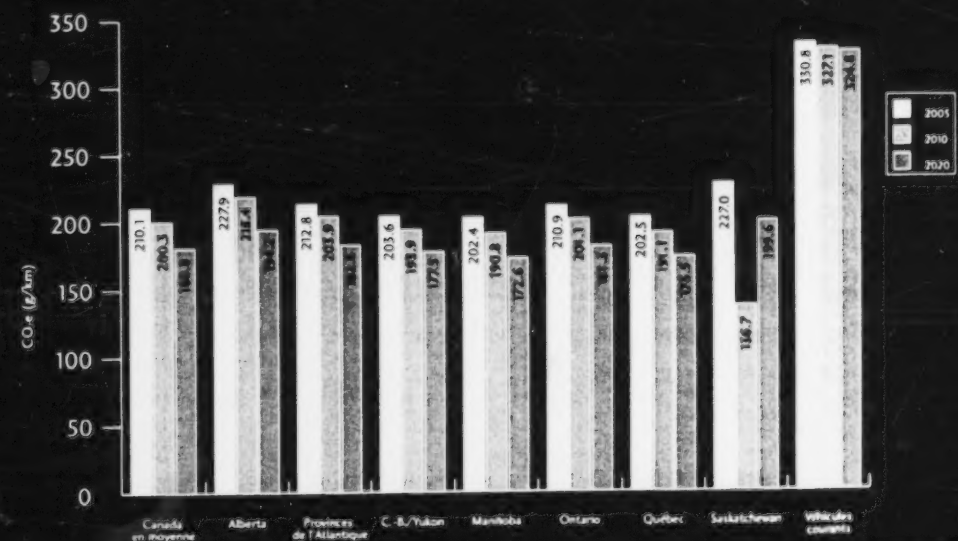
Les tableaux suivants montrent les émissions de gaz à effet de serre durant leur cycle de vie en ayant recours aux parcours de production d'hydrogène destiné aux véhicules à piles à combustible, le tout comparé à un véhicule équivalent doté d'un moteur à combustion interne.

Production d'hydrogène à partir du parcours de reformage du méthane à la vapeur*



*La vapeur à haute température et à haute pression est mélangée au gaz naturel - constitué principalement de méthane - dans un réacteur ou un appareil de reformage pour produire de l'hydrogène et du dioxyde de carbone.

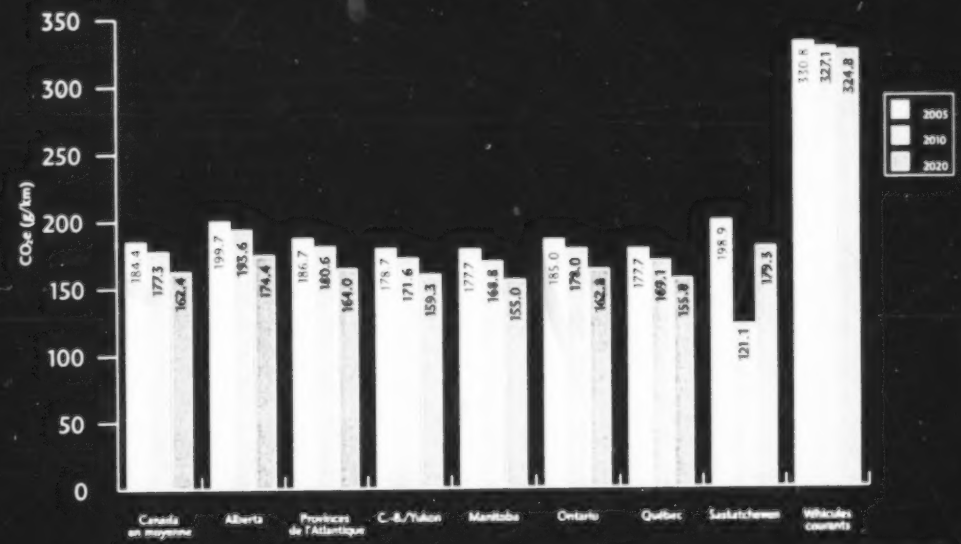
Production d'hydrogène à partir du parcours de reformage du méthanol*



*Un mélange injecté de méthanol et de vapeur est transporté au travers de réacteurs chauffés afin de produire de l'hydrogène et du dioxyde de carbone.

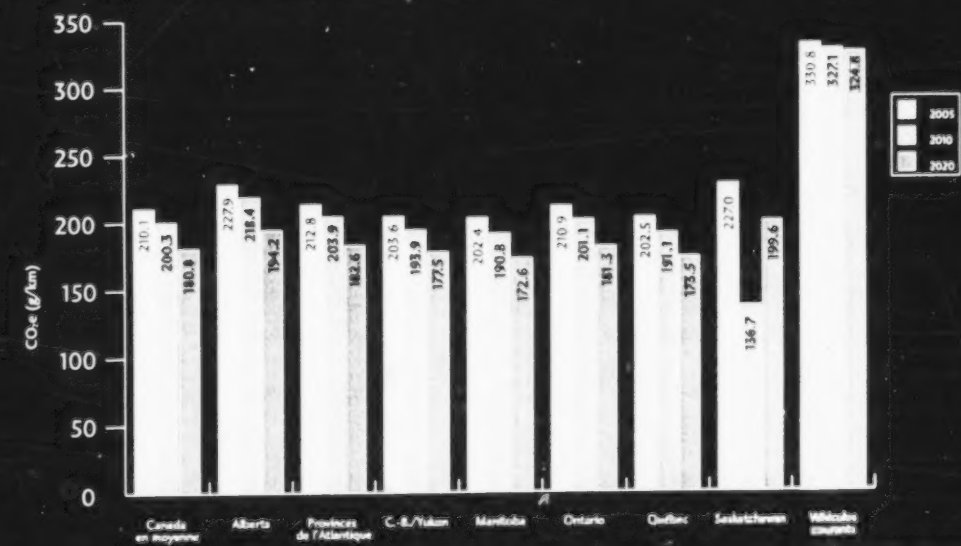
Les tableaux suivants montrent les émissions de gaz à effet de serre durant leur cycle de vie en ayant recours aux parcours de production d'hydrogène destiné aux véhicules à piles à combustible, le tout comparé à un véhicule équivalent doté d'un moteur à combustion interne.

Production d'hydrogène à partir du parcours de reformage du méthane à la vapeur*



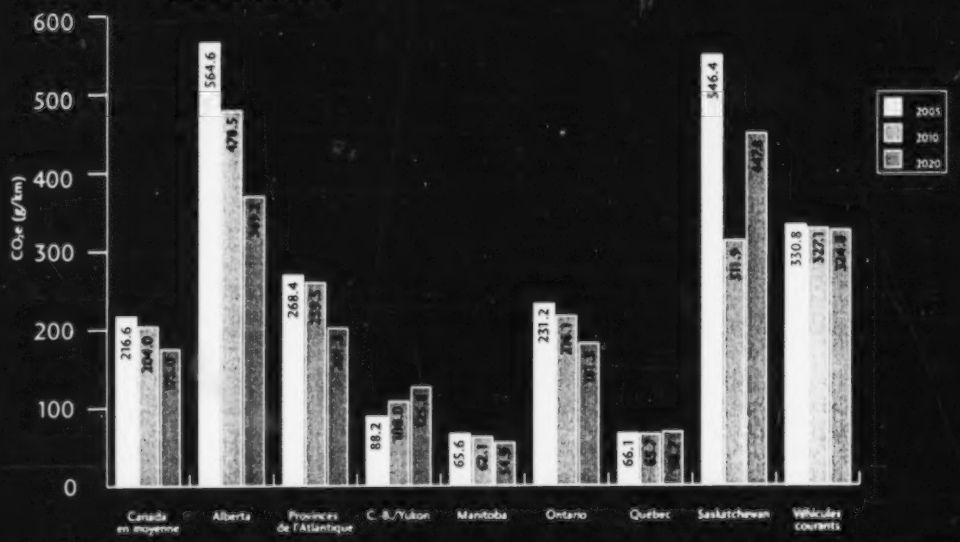
**La vapeur à haute température et à haute pression est mélangée au gaz naturel - constitué principalement de méthane - dans un réacteur ou un appareil de reformage pour produire de l'hydrogène et du dioxyde de carbone.*

Production d'hydrogène à partir du parcours de reformage du méthanol*



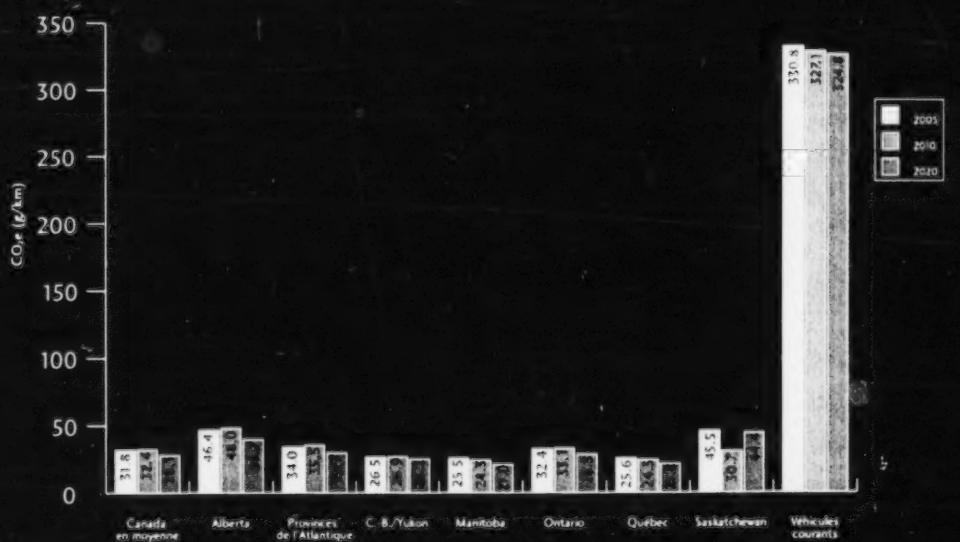
**Un mélange injecté de méthanol et de vapeur est transporté au travers de réacteurs chauffés afin de produire de l'hydrogène et du dioxyde de carbone.*

Production d'hydrogène à partir du parcours de la gazéification de la biomasse*



**La gazéification permet de transformer les matières de la biomasse, telles que les résidus du bois et des récoltes, en éléments gazeux - principalement de l'hydrogène et du dioxyde de carbone - en se servant de chaleur et de pression avec de la vapeur.*

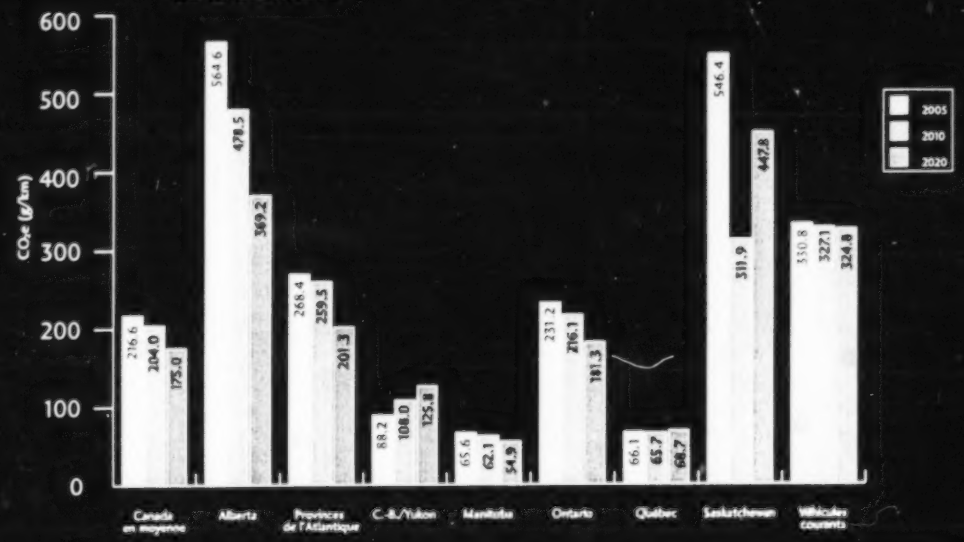
Production d'hydrogène à partir du parcours de l'électrolyse*



**L'électrolyse permet de séparer l'eau en ses éléments constituants, soit l'hydrogène et l'oxygène, en y faisant passer un courant électrique à l'intérieur d'un électrolyseur. Les deux gaz sont alors recueillis séparément.*

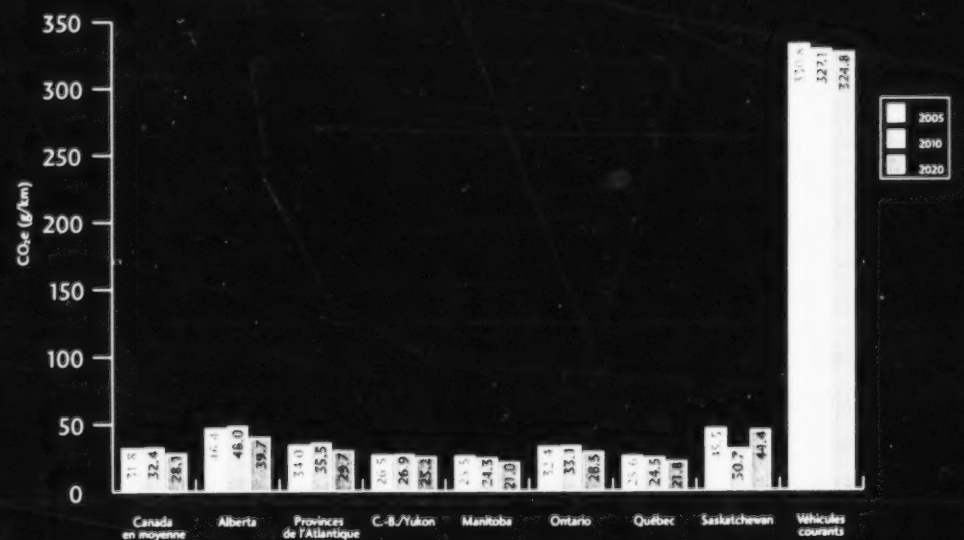
Pour obtenir des informations sur le programme GHGenius, visitez le site Web **www.ghgenius.ca**
Pour obtenir des informations sur l'ACPCT, visitez le site Web **www.ctfca.rncan.gc.ca**

Production d'hydrogène à partir du parcours de la gazéification de la biomasse*



La gazéification permet de transformer les matières de la biomasse, telles que les résidus du bois et des récoltes, en éléments gazeux - principalement de l'hydrogène et du dioxyde de carbone - en se servant de chaleur et de pression avec de la vapeur.

Production d'hydrogène à partir du parcours de l'électrolyse*



L'électrolyse permet de séparer l'eau en ses éléments constituants, soit l'hydrogène et l'oxygène, en y faisant passer un courant électrique à l'intérieur d'un électrolyseur. Les deux gaz sont alors recueillis séparément.

Pour obtenir des informations sur le programme GHGenius, visitez le site Web **www.ghgenius.ca**
Pour obtenir des informations sur l'ACPCT, visitez le site Web **www.ctfca.rncan.gc.ca**